جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارۀ سی و ششم، زمستان ۱۳۹۹

صص ۹۰- ٦٥

: https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67020.0

مقاله پژوهشی

تحلیل ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل

اردوان قربانی[1]- استاد گروه مرتع و آبخیزداری و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

زینب حزباوی- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

رئوف مصطفی‌زاده- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

نازیلا علائی- دانش‌آموخته مهندسی آبخیزداری- حفاظت آب وخاک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۱

چکیده

فرآیند فرسایش خاک به‌عنوان متغیر اصلی موردبررسی در مطالعات حفاظت آب‌وخاک در اکوسیستم‌های پایدار تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی است. هم‌چنین، ساختار و ترکیب کاربری اراضی در یک اکوسیستم از تغییرات صورت گرفته در سیمای سرزمین تأثیر می‌پذیرد. به‌همین‌منظور، پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و الگوی فرسایش خاک در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی استان اردبیل برنامه‌ریزی شد. در این راستا، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Fragstats 4.2.1، ١٤ سنجه سیمای سرزمین شامل تراکم لکه (PD)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، حاشیه کل (TE)، تراکم حاشیه (ED)، شاخص شکل لکه (LSI)، میانگین اندازه لکه (AREA-MN)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN)، شاخص گسستگی سیما (DIVISION)، میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE-MN)، شاخص تکه‌شدگی (SPLIT)، شاخص پیوستگی سیما (COHESION)، اندازه شبکه تأثیرگذار (MESH)، شاخص تجمع (AI) و درصد پوشش سیمای سرزمین (PLAND) محاسبه شد. سپس شدت فرسایش خاک منطقه با استفاده از مدل پتانسیل فرسایش (EPM) با عملکرد قابل قبول بر اساس مطالعات پیشین برآورد شد. در ادامه، نتایج حاصل از محاسبه سنجه‌ها و شدت فرسایش خاک وارد نرم‌افزار SPSS شده و رابطه‌های رگرسیونی میان آن‌ها تعیین شد. نتایج بیانگر وجود یک رابطه

١ نویسنده مسئول: ٠٩١٢٦٦٥٢٦٢٤

Email: a_ghorbani@uma.ac.ir

عکس میان سنجه‌های DIVISION و ED و LPI با فرسایش ویژه خاک و حاکی از وجود یک رابطه مستقیم بین SHAPE-MN و AREA-MN با فرسایش ویژه خاک حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی است. هم‌چنین، نتایج بیان‌کننده الگوی متفاوت ارتباط سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک است. این نتایج در برنامه‌ریزی مؤثر و هدفمند مدیریت کاربری اراضی در مقیاس آبخیز و سیمای سرزمین کاربرد دارند.

کلیدواژه‌ها: الگوی تغییرات، پویایی سیمای سرزمین، مدیریت منابع، هدررفت خاک.

۱- مقدمه

در دهه‌های گذشته، گسترش نیازهای انسانی موجب شده که استفاده از منابع زمین به‌طور چشم‌گیری بیش‌تر شود. این امر از طریق تأثیرات شدید آن بر تغییر کاربری زمین، آسیب قابل‌توجهی به ساختار و عملکرد کاربری‌های اراضی مختلف را در پی داشته است (دمونتیسا[1] و همکاران، ۲۰۱۷). بدون تردید تمامی فعالیت‌های انسانی در طبیعت درنهایت منجر به تغییرات مکانی کاربری‌های اراضی می‌شوند؛ بنابراین ارزیابی تغییرات سیمای سرزمین، نما و بازتابی از کاربری اراضی انسانی در گذشته را در اختیار می‌گذارد و به‌عنوان قالبی زنده و پویا برای کاربری اراضی پایدار به کار گرفته می‌شود (کرمی و فقهی، ۱۳۹۰).

تخریب طبیعی و انسانی اکوسیستم‌ها روابط فضایی بین سامانه‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها را تغییر داده است. یکی از نمایه‌های این تخریب، فرسایش خاک است. فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل محیط‌زیست در جهان و ایران است که به‌شدت توسط الگوی مکانی کاربری‌های اراضی تأثیر می‌پذیرد (احمدی میرقائد[2] و همکاران، ۲۰۱۸؛ واتانداسلار[3] و همکاران، ۲۰۲۰). تعیین الگوی تغییرات فرسایش خاک به‌منظور تخصیص منطقی منابع زمین و مطالعات پایداری اکوسیستم حائز اهمیت فراوان است. از طرفی فرسایش خاک بر سلامت زمین، امنیت غذایی و تولید محصولات کشاورزی، عملکرد اکوسیستم، سلامت انسان و نیز وضعیت اقلیم تأثیرگذار است. اثرات نامطلوب فرسایش خاک به‌طور منطقه‌ای و جهانی شناسایی شده است. مطالعات انجام شده در این زمینه حتی بر تبیین راهبردهایی برای مدیریت اضطراری و سازگار با تغییرات اقلیمی تأکید کرده‌اند (وب[4] و همکاران، ۲۰۲۰). اگرچه، این امر مستلزم پیشرفت در نحوه پایش فرسایش خاک با استفاده از ابزارها و شاخص‌های چندعملکردی، کارآمد و جدید ازجمله اکولوژی سیمای سرزمین در قالب سنجه‌های سیمای سرزمین[5] است.

---

1 De Montis
2 Ahmadi Mirghaed
3 Vatandaşlar
4 Webb
5 Landscape metrics

استفاده از سنجه‌های کمی در تحلیل ویژگی‌هـای سـیمای سـرزمین نقـش مهمـی در تشـخیص شـکل و الگـوی قرارگیری انواع کاربری‌ها نسبت به یکدیگر دارد و می‌توان تأثیرگذاری آن‌ها بـر فرآینـدهای هیـدرولوژیکی[1] و چرخـه مواد مغذی[2] را پایش نمود (کیانی و فقهی، ١٣٩٤؛ اویانگ[3] و همکاران، ٢٠١٠؛ وینانت[4] و همکـاران، ٢٠١٨). مطالعـات مختلفی بـه وجـود ارتبـاط مسـتقیم و غیرمسـتقیم بـین الگـوی تغییـرات کـاربری اراضـی بـا فرآینـدها و متغیرهـای هیدرولوژیکی ازجمله فرسایش خاک اشاره کرده‌اند. برای نمونه، اویانگ و همکـاران (٢٠١٠)، بـا انجـام مطالعـه‌ای در حوزه آبخیز بالادست رودخانه زرد چین طی سال‌های ١٩٧٧ تا ٢٠٠٦، بیان کردند که افزایش مـداوم زمین‌هـای لخـت، پهنه‌های آبی و زمین‌های کشاورزی موجب افزایش معنی‌دار فرسایش خاک شده است. هم‌چنـین، تغییـرات منطقـه‌ای سیمای سرزمین ارتباط بسیار قوی با فرسایش خاک نشان داده است. تحلیل نتایج در سطح لکه تأییـد کـرد کـه میـزان حمل رسوب از حاشیه‌های لکه در اثر افزایش حاشیه لکه نیز زیاد شده است. هم‌چنین، کـری[5] و همکـاران (٢٠١١) در پژوهشی در خصوص معیارهای تخریب کاربری اراضی در حوزه آبخیز با[6] ایالـت فلوریـدا امریکـا نتیجـه گرفتنـد کـه شاخص توسعه سیمای سرزمین و سنجه‌هایی ماننـد بزرگ‌تـرین لکـه و نیـز متوسـط انـدازه سـکونت‌گاه‌های منفـرد، بیش‌ترین ارتباط با بار معلق برآورد شده در ایستگاه‌های پایش را دارند. ژلیس[7] (٢٠١٣) عوامل مؤثر بر غلظـت رسـوب رگبار در چهار حوزه آبخیز در جزیره پوئترو ریکو[8] با کاربری‌های اراضی متفـاوت را موردبررسـی قـرار داد و بـه ایـن نتیجه رسید که حلقه‌های سنجه رسوب در اراضی کشاورزی به‌واسطه موجودیت رسوب در دسترس و غلظـت بالـای رسوب در شاخه بالارونده آب‌نمود، دارای الگـوی سـاعت‌گرد بـوده اسـت. در ادامـه، مـارکو دی‌سـیلوا[9] و همکـاران (٢٠١٥) با استفاده از سنجه‌های سیمای سـرزمین بـه تحلیـل فرآینـدهای فرسـایش خـاک در مقیـاس کـرت و تحـت شبیه‌سازی باران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ارتبـاط تنگـاتنگی بـین تغییرپـذیری فرسـایش خـاک و سـنجه‌های سیمای سرزمین ازجمله تعداد لکه، تراکم لکه، بزرگ‌ترین اندازه لکه، تراکم حاشیه، شاخص شکل لکـه و بعـد فرکتـال وجود دارد.

خـو[10] و همکاران (٢٠١٧) اثرات الگوی سیمای سرزمین را بر فرآیندهای فرسـایش خـاک در منطقـه کوهسـتانی در شمال چین بررسی نمودند. آن‌ها کاربری‌های زمین لخت، کشاورزی و شهری را به‌عنوان منابع تولیـد رسـوب در نظـر

1 Hydrological processes
2 Nutrient cycle
3 Ouyang
4 Wynants
5 Carey
6 Ba
7 Gellis
8 Puerto Rico
9 Marco da Silva
10 Xu

گرفتند. هم‌چنین کاربری‌های جنگلی و مرتعی به‌عنوان منابع انباشت رسوب محسوب شدند. نتایج آن‌ها تأکید بر وجود ارتباط معنی‌دار بین الگوی سیمای سرزمین و تولید رسوب و فرآیندهای فرسایش خاک بوده است. هم‌چنین نتایج ایشان نشان داد که شاخص‌های تجزیه و شکل لکه به ترتیب دارای ارتباط مثبت با فرسایش خاک و تولید رسوب هستند. شاخص تکه‌شدگی نیز با مقدار فرسایش ارتباط مثبت و با تولید رسوب ارتباط منفی از خود نشان داد. هم‌چنین وینانت و همکاران (۲۰۱۸) اثرات افزایش خطر فرسایش خاک به دنبال تغییر کاربری اراضی در حوضه مانیارا[1]، در تانزانیا را بررسی کردند. در این پژوهش از تصاویر لندست برای تحلیل تغییر کاربری اراضی طی سه دهه متوالی (۲۰۱۶–۱۹۸۸) استفاده شد و فرسایش خاک از معادله جهانی هدررفت خاک (USLE[2]) برآورد شد. نتایج خروجی‌های مدل نشان داد که از لحاظ توپوگرافی، نوع خاک و الگوهای بارندگی باعث تغییر کاربری اراضی شده که این امر خطر فرسایش خاک را افزایش داده است. آنیسی[3] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک و رسوب در حوضه وینیکی[4]، در اتیوپی پرداختند. در پژوهش ایشان، از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های هواشناسی و نقشه خاک استفاده شد. در ادامه نسبت تحویل رسوب (SDR)[5] بر اساس تجزیه‌وتحلیل استفاده از پوشش اراضی و عوامل RUSLE محاسبه شد. نتایج نشان داد که کل تلفات خاک از ۱۰/۰۲ تن در هکتار در سال ۱۹۸۸ به ۴۳/۴۸ تن در هکتار در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است. هم‌چنین، نتایج نشان داد که زمین‌های کشاورزی بالاترین میزان فرسایش خاک را در منطقه موردمطالعه تولید کرده‌اند.

در ایران نیز سعدالدین[6] و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش‌های SCS[7] و EPM[8] اثرات فعالیت‌های مدیریت پوشش گیاهی در حوزه آبخیز رامیان استان گلستان را پیش‌بینی کرده و سناریوهای برتر مدیریتی به‌منظور کاهش سیل و فرسایش را با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تعیین نمودند. صادقی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی پاسخ رسوب‌نمود و حلقه‌های سنجه رسوب به نوع و توزیع مکانی کاربری اراضی در حوزه آبخیز رودخانه گلاز اشنویه در استان آذربایجان غربی پرداختند. در پژوهش ایشان، رسوب‌نمودهای رگبارهای مشاهداتی و تأثیر نوع و توزیع مکانی کاربری‌های مرتع، کشاورزی و جنگل روی رسوب بررسی شد. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که افزایش غلظت رسوب در شاخه پایین‌رونده رسوب‌نمود در اثر مشارکت تولید رسوب از کاربری کشاورزی دامنه‌های بالادست آبخیز اتفاق افتاده است. نجفی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) نیز میزان فرسایش و رسوب در آبخیز چراغ‌ویس را در دو

1 Manyara
2 Universal Soil Loss Equation (USLE)
3 Aneseyee
4 Winike
5 Sediment Delivery Ratio
6 Sadoddin
7 Soil Conservation Service (SCS)
8 Erosion Potential Method (EPM)

وضعیت سیستمی و تخصیص چند فاکتوره آمایش سرزمین با استفاده از مدل EPM بـرآورد نمودنـد و نتیجـه گرفتنـد که روش تخصیص چند فاکتوره از توانایی بهتری در آمایش کاربری‌های آبخیز مورد مطالعـه برخـوردار بـوده و نقـش مؤثرتری در کاهش فرسایش و رسوب دارد. احمدی میرقائد و همکاران (۲۰۱۸) نیز به ارزیابی ارتباط بـین فرسـایش خاک و سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز گرگان پرداختند. این پژوهش‌گران بیان کردند کـه هـدررفت خـاک با کاهش سنجه‌های مرتبط با جنگل و مرتع افزایش پیدا کرده و نیز با افـزایش سـنجه‌های مـرتبط بـا منـاطق شـهری و کشاورزی تشدید یافت. هم‌چنین مشخص شد که نوع کاربری اراضی مهم‌ترین عامل در تعیین فرسایش خاک بـوده و مقدار هدررفت خاک بیش‌ترین تأثیرپذیری را از نظر مساحت، تعداد، شکل و تراکم لکه‌های سیمای سـرزمین داشـته است. هم‌چنین در پژوهشی معتمدی و همکـاران (۱۳۹۸) ارتبـاط الگـوی سیمای سـرزمین و رسـوب در برخـی از زیرحوزه‌های آبخیز استان گلستان را موردبررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از رگرسیون کمینه مربعات جزئـی بـه ایـن نتیجه رسیدند که بین رسوب آبخیز و الگوهای پوشش گیاهی ارتباط زیـادی وجـود دارد. شـاخص بـزرگ‌تـرین لکـه (LPI)، میانگین فاصـله نزدیـک‌ترین همسـایه (MN-ENN) و میـانگین نسـبت محـیط بـه مسـاحت (MN–PARA) به‌عنوان سنجه‌های اصلی در کاهش میزان رسـوب آبخیـز و سـنجه‌هـای شـاخص شـکل سـیمای سـرزمین (LSI) و میانگین اندازه لکه (MN-AREA) به‌عنوان سنجه‌های مؤثر در افزایش رسوب آبخیزهای مطالعاتی شـناخته شـدند کـه ۷۱ درصد از تغییرات رسوب را در زیرحوضه‌ها تبیین نمودند.

جمع‌بندی سابقه پژوهش نشان می‌دهد که به‌سبب عدم امکان صرف‌نظـر از نیازهـای انسـانی و ضـرورت کشـف راه‌حل‌های معنی‌دار برای استفاده پایدار و در سازگار با پتانسیل‌های منابع آب‌وخاک موجود، کسب اطلاعـات جدیـد و نیز انجام تحلیل‌های دقیـق از وضـعیت و رفتـار سـیمای سـرزمین ضـروری اسـت. طـی سـال‌های اخیـر اسـتفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در زمینه‌های مختلف ازجمله تغییر کاربری اراضی (آنیسی و همکـاران، ۲۰۲۰) و فرسـایش خاک (نجفی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲؛ معتمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سعدالدین و همکـاران، ۲۰۱۰؛ وینانـت و همکـاران، ۲۰۱۸) به‌عنوان یکی از روش‌های نوین در تکمیل تحلیل‌های قبلی و نیز دستیابی به داده‌های نـو معرفـی شـده اسـت. به‌سبب بالا بودن مقدار فرسایش خاک در اکثر حوزه‌های آبخیز ایران، توجه بیش‌تر به مطالعـه عامـل پیچیـده فرسـایش خاک و درعین‌حـال مختل‌کننـده پیوسـتگی سـیمای سـرزمین از دو جنبـه سـاختاری و عملکـردی ضـروری اسـت. باوجوداین، بدون کسب دانش در زمینه تحلیل ارتباط فرسایش خاک با سایر عوامل تأثیرگذار، امکان تبیـین راهبردهـای مدیریتی مناسب و متناسب و درعین‌حال مقرون‌به‌صرفه دشوار خواهد بود. به همین دلیـل، ایـن امـر ضـرورت کسـب اطلاعات در این زمینه در شرایط مختلف اقلیمی، خاکی، پوشش گیاهی و حتی توسعه‌ای را توجیه و مورد تأکیـد قـرار می‌دهد. هم‌چنین به‌سبب توسعه نوع و سطح نیازهای انسانی در عصر حاضر، شکل اسـتفاده از زمـین نیـز تغییـر پیـدا کرده است که در مطالعات مختلف به این امر مهم اشاره شده و مورد تأیید قرار گرفته اسـت. لـذا، پـژوهش حاضـر بـا

هدف ارزیابی ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل انجام شده است.

۲- روش پژوهش

۲- ۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل دارای مساحت ۸۰۵/۷۰ کیلومترمربع و محیط ۱۴۸/۹۸ کیلومتر است. این حوضه در قسمت جنوبی اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر قرار گرفته و بخش زیادی از شهرستان نیر را در برمی‌گیرد. این حوضه دارای مختصات جغرافیایی ″۰۱´۲۲°۴۸ تا ″۰۰´۳۰°۴۸ طول شرقی و ″۲۸´۰۷°۳۸ تا ″۰۱´۰۳°۳۸ عرض شمالی است. از لحاظ شکل ظاهری، این حوضه کشیده بوده و دارای ضریب فشردگی برابر با ۱/۴۷ است. تراکم جمعیت در این حوضه برابر با ۹/۵۷ نفر در کیلومترمربع است. به‌طورکلی ٦٥ روستا ازجمله قلعه‌جوق، خان‌قشلاقی، جعفرلو و مولان در این حوضه وجود دارد. پایین‌ترین و بالاترین ارتفاع حوضه به‌ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۲٥٤۹ متر نسبت به سطح دریاست. هم‌چنین حداکثر و حداقل بارش در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۵۸۰ و ۳۱۸ میلی‌متر، حداقل و حداکثر دمای هوا هم ۹/٤ و ٤/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است. هم‌چنین سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی را مراتع، زراعت، برونزد سنگی و مسکونی به‌ترتیب با مقدار ۲۹/۱۳، ٦٤/۷۷، ۳/۵۰ و ۰/۸۰ درصد تشکیل داده است (علائی و همکاران، ۱۳۹۸؛ حزباوی و همکاران، ۱۳۹۹). شکل ۱، موقعیت حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی را در سطح کشور و استان اردبیل نمایش می‌دهد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

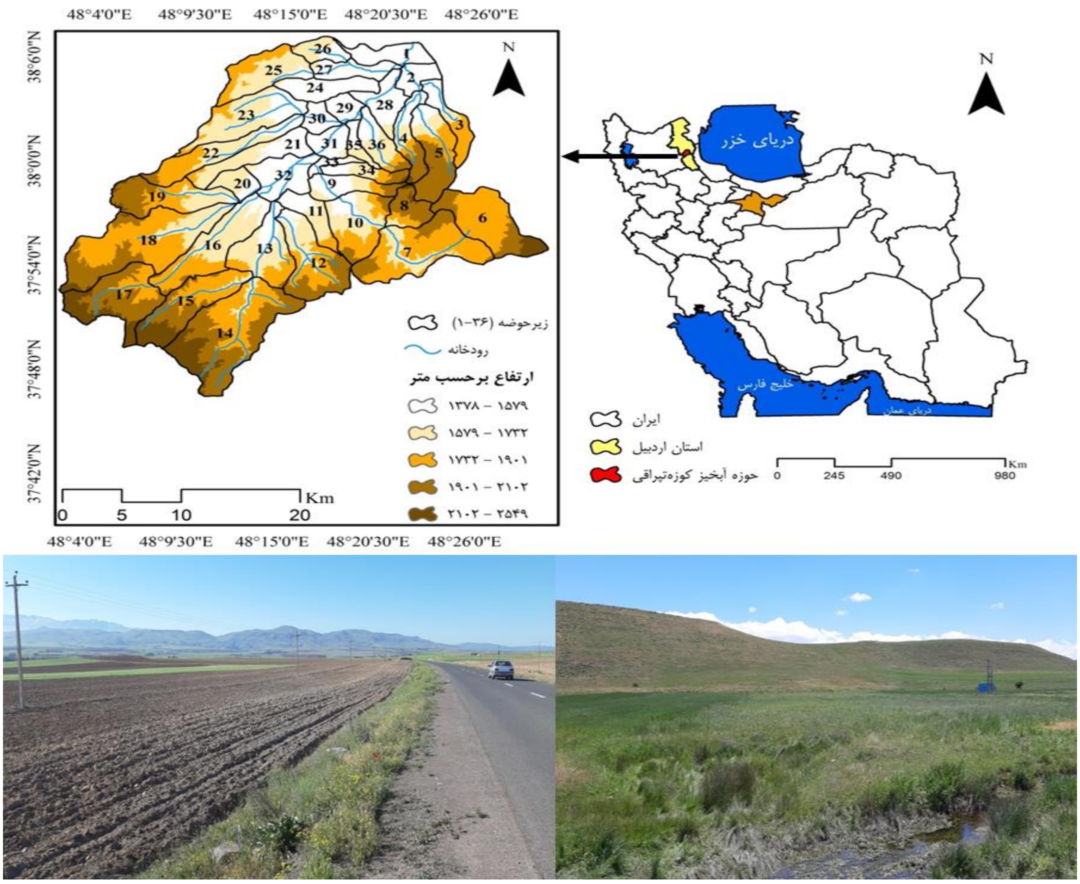
داده‌های اصلی تحقیق حاضر شامل دو بخش سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک بوده است. علاوه بر این، نقشه کاربری زمین به‌عنوان داده ورودی اصلی برای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین مورداستفاده قرار گرفته است. بدین‌منظور انواع کاربری اراضی در محیط Google Earth بر اساس اطلاعات سال ۱۳۹۸ استخراج شدند و سپس از طریق بازدیدهای میدانی اصلاحات لازم متناسب با هر کاربری اراضی انجام شد (شکل ۲).

۲- ۳- محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

یکی از ابزارهای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، نرم‌افزار Fragstats می‌باشد که استفاده از آن به‌دلیل قابلیت بیش‌تر و محاسبه تعداد بیش‌تری از سنجه‌های سیمای سرزمین معمول‌تر است (مک‌گاریگال[1] و همکاران، ۲۰۰۲). نرم‌افزار Fragstats مجموعه کاملی از سنجه‌های سیمای سرزمین بوده و برای تجزیه‌وتحلیل الگوی مکانی و

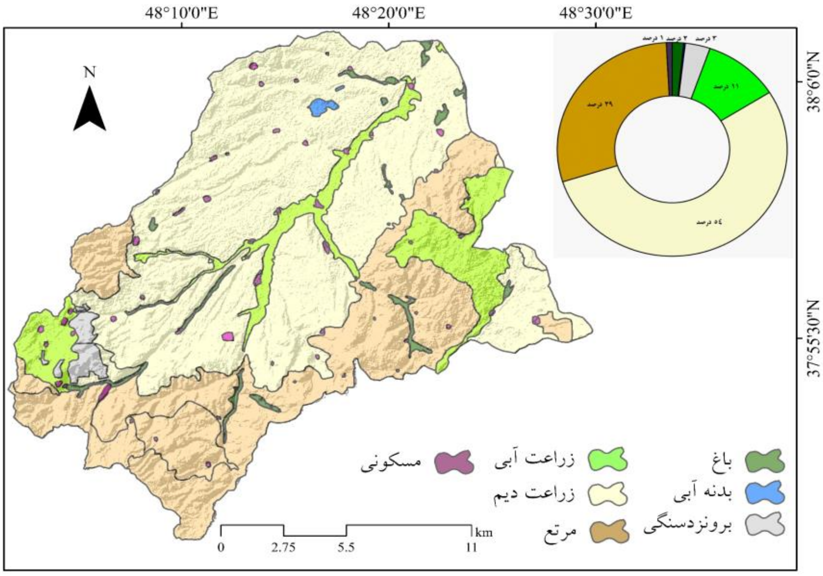
1 McGarigal

سنجه‌های مختلف لکه‌های تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین در محیط‌های ناهمگن و شرایط متفاوت مناسب است. هم‌چنین، این برنامه محدودیتی در مقیاس از لحاظ پهنه و بزرگ‌نمایی ندارد. به ازای هر ورودی در نرم‌افزار Fragstats، سه فایل خروجی لکه[1]، کلاس[2] و سیما[3] ایجاد می‌شود که تمامی آن‌ها به‌صورت فایل متنی است. یکی از مسائل مهم در امر استفاده از این سنجه‌ها، انتخاب سنجه مناسب از میان تعداد زیادی از سنجه‌هاست. باید توجه داشت که سنجه‌ها در بسیاری از موارد دارای هم‌پوشانی هستند و اطلاعات مشابهی از وضعیت سیمای سرزمین ارائه می‌نمایند (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۱)، به‌همین منظور کاهش اولیه تعداد سنجه‌ها لازم است صورت پذیرد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی در ایران و استان اردبیل (بالا) و نمایی از شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی آن (پایین)

1 Patch
2 Class
3 Landscape



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 و تبدیل آن به فرمت رستری، برای کمّی‌سازی سنجه‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 4.2 در سطح کلاس و سیما برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز استفاده شد (عبدالعلی‌زاده[1] و همکاران، ۲۰۰۲). لازم به ذکر است که نقشه کاربری اراضی در این مطالعه به‌عنوان یکی از ورودی‌های اصلی مدل بوده که از نظر اندازه سلول و محیط مشابه نقشه توپوگرافی تهیه شده توسط سازمان ملی اطلاعات جغرافیایی ایران، عکس‌های ماهواره‌ای موجود در منطقه و هم‌چنین اطلاعات جدید Google Earth تهیه و سپس با بازدیدهای میدانی طبقات کاربری اراضی اصلاح و درنهایت نقشه نهایی کاربری اراضی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه شد. در مجموع به‌منظور تحلیل الگوی سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، تحلیل ۱۴ سنجه سیمای سرزمین در دو سطح مکانی کلاس و سیما انجام شد. ویژگی‌های کلی سنجه‌های سیمای سرزمین محاسبه شده برای حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی در جدول (۱) ارائه شده است.

1 Abdolalizadeh

جدول ۱- ویژگی‌های کلی سنجه‌های سیمای سرزمین محاسبه شده برای حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی

نام انگلیسی	نام فارسی	حروف اختصاری	واحد	رابطه	دامنه تغییرات
Patch Density	تراکم لکه	PD	متر در ۱۰۰ هکتار	$PD = \frac{n_i}{A}(10000)(100)$	PD > 0
Largest Patch Index	شاخص بزرگ‌ترین لکه	LPI	درصد	$\mathrm{LPI} = \frac{\max(a_{ij})}{A}(100)$	۱۰۰ < LPI ≤ ۰
Total Edge	حاشیه کل	TE	متر	$TE = E$	TE ≥ 0
Edge Density	تراکم حاشیه	ED	متر در ۱۰۰ هکتار	$\mathrm{ED} = \frac{\mathrm{E}}{A}(10000)$	TE ≥ 0
Landscape Shape Index	شاخص شکل لکه	LSI	–	$\mathrm{LSI} = \frac{0/25E^*}{\sqrt{A}}$	LSI ≥ 1
Mean patch area	میانگین اندازه لکه	AREA -MN	هکتار	$\mathrm{AREA-MN} = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}\frac{1}{10000}$	۰AREA >
Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance	میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی	ENN_MN	متر	$\frac{\sum_{j=1}^{n} h_{ij}}{N}$	ENN_MN>0، بدون محدودیت
Landscape Division Index	شاخص گسستگی سیما	DIVISION	نسبت	$DIVISION = \left[1 - \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{a_{ij}}{A}\right)^2\right]$	0≤DIVISION<1
Mean patch shape index	میانگین شاخص شکل لکه	SHAPE - MN	بدون واحد	$\mathrm{SHAPE} = \frac{P_{ij}}{minP_{ij}}$	۱SHAPE ≥
Splitting Index	شاخص تکه‌شدگی	SPLIT	بدون واحد	$\mathrm{SPLIT} = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^2}$	تعدادسلول ≤ ۱SPLIT ≤
Patch Cohesion Index	شاخص پیوستگی لکه	COHESION	–	$\mathrm{COHESION} = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} p_{ij}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} p_{ij}\sqrt{a_{ij}}}\right]\left[1 - \frac{1}{\sqrt{Z}}\right]^{-1} .(100$	رفتار این شاخص برای هر سیمای سرزمین متغیر است.
Effective Mesh Size	اندازه شبکه تأثیرگذار	MESH	هکتار	$MESH = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^2}{A}$	تعدادسلول ≤ SPLIT ≤ کل مساحت سیمای سرزمین
Aggregation Index	شاخص تجمع	AI	درصد	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{max \to g_{ii}}\right](100)$	0 ≤ AI <100
Percentage of Landscape	درصد پوشش سیمای سرزمین	PLAND	درصد	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{A}(100)$	0 ≤ PLAND <100

۲- ٤- محاسبه فرسایش خاک با استفاده از مدل EPM

مدل EPM روشی برای کمی کردن شدت فرسایش خاک و تخمین میزان کل رسوب‌دهی سالانه در یک حوزه آبخیز است که برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است. در این روش، چهار مشخصه شامل ضریب فرسایش حوزه آبخیز (ψ)، ضریب استفاده از زمین (X_a)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوزه آبخیز (I) در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی موردبررسی قرار گرفت (اسمعلی و عبداللهی، ۱۳۹۰). ضریب فرسایش حوزه آبخیز (ψ) از روی جدول استاندارد مبتنی بر تفسیر تصاویر ماهواره‌ای Google Earth منطقه، اطلاعات موجود در گزارش‌های پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و بازدیدهای زمینی محاسبه شد. هم‌چنین، برای تعیین ضریب استفاده از زمین (Xa) از نقشه کاربری اراضی استفاده شد و طبق جدول‌های استاندارد مدل EPM، به هر نوع کاربری اراضی موجود در هر زیرحوضه، امتیاز ویژه‌ای تعلق گرفت. در این راستا، منطقه از لحاظ شدت انواع فرسایش‌های حاکم بر هر زیرحوضه به طبقات مختلف تقسیم‌بندی شد. بر همین اساس در این تحقیق ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) از لایه ضرایب حساسیت سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه، تهیه شد و بر اساس جدول تعیین حساسیت سازندها به فرسایش، مقدار وزنی هر سازند تعیین و امتیازبندی صورت پذیرفت. سپس برای تهیه نقشه شیب متوسط حوزه آبخیز (I) از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شد. سپس در هر یک از زیرحوضه‌ها، مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش از رابطه (۱) تعیین و در ادامه فرسایش ویژه بر اساس رابطه (۲) برآورد شد.

$$Z = Y.X_a(\varphi + I^{0.5}) \qquad (۱)$$

$$W_{SP} = T.H.\pi.Z^{1/5} \qquad T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، W_{SP} فرسایش ویژه برحسب مترمکعب در کیلومترمربع در سال، H متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر و T ضریب درجه حرارت و t میانگین درجه حرارت سالانه به درجه سانتی‌گراد هستند.

۲- ۵- تجزیه‌وتحلیل رگرسیونی

در پژوهش حاضر نیز به‌منظور ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک از روش گام به گام رگرسیون چند متغیره هم در سطح کلاس (برای کاربری کشاورزی، مرتع و باغ) و هم در سطح سیما با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 26.0 استفاده شد. رگرسیون یکی از تکنیک‌های آماری برای داده‌هایی است که معمولاً در سطح سنجش فاصله‌ای هستند. در این روش آماری، رابطه بین متغیرها به‌صورت تابعی از متغیر وابسته که تغییرات متغیرهای مستقل را پیش‌بینی می‌کنند، تعیین می‌شود (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). در پژوهش حاضر با توجه به اینکه بیش از دو متغیر در رابطه رگرسیونی شرکت داشتند از رگرسیون گام به گام جهت بررسی ارتباط بین فرسایش ویژه با سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شد. ۷۵ درصد زیرحوضه‌ها (۲۷-۱) برای مرحله واسنجی و ۲۵ درصد

زیرحوضه‌ها (۳۶–۲۸) برای مرحله اعتبارسنجی انتخاب شد. میزان هم‌خطی و خودهم‌بستگی بین سنجه‌های سیمای سرزمین موردبررسی در پیش‌بینی میزان فرسایش خاک به‌ترتیب با استفاده از آماره‌های Durbin-Watson (۱/۵ تا ۲/۵) و عامل تورم واریانس[1] (VIF؛ کم‌تر از ۱۰) موردبررسی قرار گرفت (زارع چاهوکی، ۱۳۸۹؛ زویر[2] و همکاران، ۲۰۰۹). در ادامه روابط مناسب رگرسیونی بر اساس شاخص‌های آماری مورد ارزیابی انتخاب شدند و در ادامه عوامل مؤثر بر میزان فرسایش، تجزیه‌وتحلیل شدند.

۳- نتایج و بحث

۳- ۱-تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین

در شکل (۳)، تغییرات مقادیر سنجه‌های تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، حاشیه کل، تراکم حاشیه، شاخص شکل لکه، میانگین اندازه لکه، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی، شاخص گسستگی سیما، میانگین شاخص شکل لکه، شاخص تکه‌شدگی، شاخص پیوستگی لکه، اندازه شبکه تأثیرگذار، شاخص تجمع و درصد پوشش سیمای سرزمین را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، مقادیر سنجه تراکم لکه در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بین ۰/۱۰ تا ۱/٦٤ تغییر می‌کند. هم‌چنین میانگین تراکم لکه برای حوضه مورد مطالعه ۰/٤۷ به‌دست آمد. وجود تراکم بالای لکه در زیرحوضه‌ها نشان‌دهنده تخریب کاربری اراضی می‌باشد که باعث افزایش تخریب نیز شده است (کیانی و فقهی، ۱۳۹٤). از نتایج سنجه تراکم لکه برای اندازه‌گیری میزان اتصال و پیوستگی کاربری‌ها نیز استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر، مقادیر تراکم لکه برای کاربری کشاورزی بیش‌ترین مقدار و برای کاربری باغ کم‌ترین مقدار ارزیابی شد. حضور تراکم لکه بالا در کاربری کشاورزی، نشان‌دهنده افزایش تخریب زمین است که منجر به افزایش تکه‌شدگی شده است با افزایش تراکم لکه، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک‌تر و منظم‌تر می‌شوند. این نتیجه با نتایج معتمدی و همکاران (۱۳۹۸) مبنی بر این‌که تراکم لکه بالا نشان‌دهنده تخریب کاربری اراضی بود که می‌تواند منجر به افزایش فرسایش و تولید رسوب شود، مطابقت دارد. حداکثر تراکم لکه زمانی حاصل می‌شود که هر سلول یک لکه جداگانه باشد (مک‌گاریگال و انه[3]، ۲۰۱۳)؛ بنابراین حضور فراوان لکه‌های کوچک در پوشش‌های گیاهی مختلف، منجر به کم شدن فواصل دو لکه مشابه شده و درنتیجه افزایش میزان تکه‌شدگی را به همراه دارد. هم‌چنین حضور تراکم لکه بالا در زیرحوضه ۳۳، نشان‌دهنده افزایش تخریب زمین است که منجر به افزایش

1 Variance Inflation Factor
2 Zuur
3 Ene

تکه‌شدگی شده است. اعتقاد بر این بود که تراکم لکه مبتنی بر یک نوع استفاده از لکه‌های خاص، ممکن است بر فرآیندهای اکولوژیکی مهم آبخیز تأثیر بگذارد (علائی و همکاران، ۱۳۹۸).

الگوی مکانی شاخص بزرگ‌ترین لکه در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی با میانگین و انحراف معیار ۶۹/۶۸ ± ۲۱/۹۶ درصد نشان‌دهنده سطح نسبتاً کم وضعیت گسیختگی در اکثر زیرحوضه‌ها (بیش از ۲۰ زیرحوضه) است. بااین‌حال، برخی از بخش‌های حوزه آبخیز با توجه به مقدار کم شاخص بزرگ‌ترین لکه (ازجمله زیرحوضه‌های ۹، ۳۱، ۳۲) شرایط بحرانی را از لحاظ گسیختگی تجربه کردند. طبق شکل (۳)، بیش‌ترین مقدار این شاخص برای کاربری کشاورزی و کم‌ترین مقدار برای کاربری باغ می‌باشد. دلیل این امر این است که بیش‌ترین مساحت حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی را کاربری کشاورزی (دیم و آبی) تشکیل داده است.

حاشیه کل در سطح سیمای سرزمین، مجموع حاشیه یک اندازه مطلق از طول حاشیه کل یک نوع لکه خاص است (مک‌گاریگال و انه، ۲۰۱۳). با افزایش حاشیه کل، اتصال و پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک و منظم‌تر می‌شوند. بیش‌ترین مقدار شاخص حاشیه کل در کاربری مرتع و کم‌ترین مقدار آن در کاربری باغ برآورد شد. این امر نشان‌دهنده تخریب مراتع در اکثر زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی است. حداکثر و حداقل حاشیه کل برای حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی در سطح سیما برای زیرحوزه‌های آبخیز ۳۶ واقع در قسمت مرکزی آبخیز (۶۱۳۸۳ متر) و ۲۱ واقع در شمال غربی آبخیز (۱۳۳۸/۳۷ متر) به‌دست آمد. میانگین حاشیه کل برای حوزه آبخیز مورد مطالعه ۱۷۲٤٤/٥٤ متر به‌دست آمد.

تراکم حاشیه به‌عنوان معیار مهمی برای نشان دادن عملکرد حوزه آبخیز است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷) و به از دست رفتن زیستگاه، ترکیب و الگوی زیستگاه اشاره می‌کند (وانگ[1] و همکاران، ۲۰۱٤؛ لئو[2] و همکاران، ۲۰۱٦). زمانی‌که هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد مقدار عددی این شاخص برابر صفر است؛ یعنی زمانی‌که کل سیمای سرزمین و مرز آن، شامل یک لکه باشد (مک‌گاریگال، ۲۰۰۱).

در سطح سیمای سرزمین، رابطه بین تراکم حاشیه و تکه‌شدگی مثبت است، به‌طوری‌که با افزایش تراکم حاشیه، تکه‌شدگی در آن زیرحوضه افزایش می‌یابد. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر شاخص مربوط به کاربری‌های کشاورزی و باغ است. هم‌چنین نتایج این شاخص برای کل سیمای سرزمین حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی نشان داد که زیرحوضه‌های ۲۱ (واقع در شمال غربی آبخیز) و ۲۷ (واقع شمال آبخیز) به‌ترتیب با مقدار عددی ۰/۸۳ و ۱۳/۸۵ متر بر هکتار در سطح سیمای سرزمین حداقل و حداکثر تکه‌شدگی را دارند. هم‌چنین برای حوضه مورد مطالعه میانگین و انحراف معیار تراکم حاشیه ۳ ± ۷/۲۷ متر بر هکتار برآورد شد. این امر نشان‌دهنده مقادیر بالای تراکم حاشیه و تخریب سیمای سرزمین کوزه‌تپراقی است (علائی و همکاران، ۱۳۹۸). جاپلقی و همکاران (۱۳۹۷) از معیار تراکم حاشیه برای

1 Wang
2 Liu

سیمای سرزمین استان لرستان استفاده کردند. اگرچه مقدار معیار تراکم حاشیه بین ۰/۰۰۲ تا ۰/٤٤ برای این استان به‌دست آمد، اما نتایج نشان داد که لکه‌های سیمای سرزمین لرستان در حال تقسیم شدن هستند و این موجب افزایش مقادیر تراکم حاشیه و تخریب سیمای سرزمین شده است.

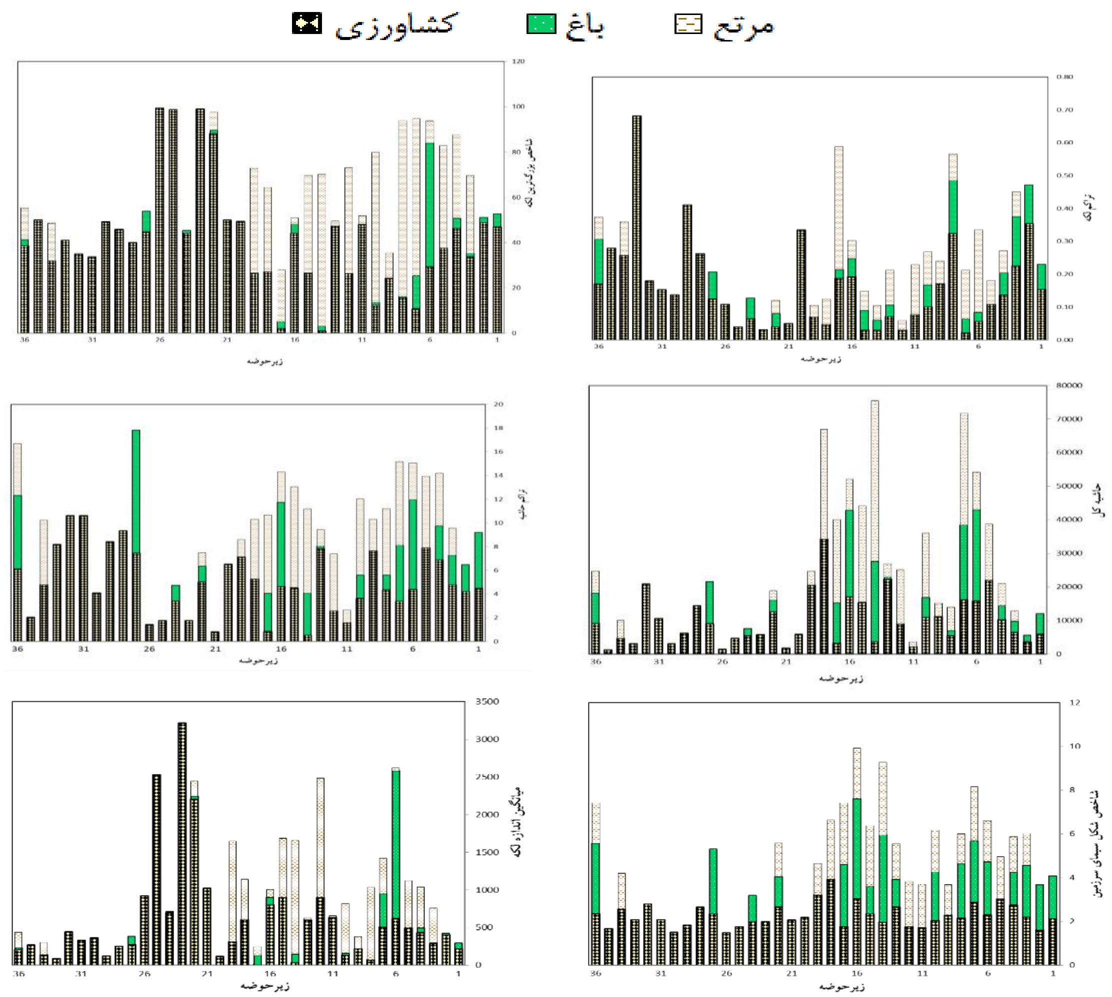
شاخص شکل لکه یک معادله سنجه تجمعی با ویژگی مکانی پراکندگی است (مک‌گاریگال، ۲۰۰۱). این سنجه، نسبت محیط لکه (طول حاشیه) به حداقل محیط ممکن برای یک لکه با حداکثر تجمع (انباشتگی) را نشان می‌دهد و درصورتی‌که برابر با یک باشد؛ یعنی سیمای سرزمین شامل یک لکه با حداکثر فشردگی و تقریباً مربع شکل است. درحالی‌که لکه پراکنده‌تر، مرز بی‌نظم‌تر و شکل آن پیچیده‌تر شود، مقادیر شاخص شکل لکه بدون محدودیت افزایش می‌یابد (مک‌گاریگال و انه، ۲۰۱۳). با توجه به نتایج شکل (۳)، بی‌نظمی در کاربری کشاورزی بیش‌تر از کاربری‌های مرتع و باغ است.

میانگین اندازه لکه یک نوع ماتریس سیمای سرزمین است که بر اساس ویژگی میانگین لکه ارائه شده است که اندازه‌گیری گرایش مرکزی را در مشخصه لکه مربوطه در کل سیمای سرزمین ارائه می‌دهد (مک‌گاریگال، ۲۰۰۱). میانگین و انحراف معیار میانگین اندازه لکه برای مطالعه حاضر به‌ترتیب برابر با ۳۱٤/۸۱ و ۱۸۸/ ۷٤ هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین تغییرات این شاخص برای کاربری کشاورزی و کم‌ترین تغییرات آن برای کاربری باغ است. هم‌چنین برای کل حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، مقادیر حداقل و حداکثر میانگین اندازه لکه نیز به‌ترتیب برابر با ٦١/١٣ (زیرحوضه ۳۳) و ۱۰۲۰/٦٨ (زیرحوضه ۲۱) هکتار است. لئو و همکاران (۲۰۱٦) رابطه معکوس و مثبت با روند کاهش بین میانگین اندازه لکه و تلفات زیستگاه بر اساس تجزیه‌وتحلیل ۱٦ شهر بزرگ از سراسر جهان یافتند. علاوه بر این، رخماواتی[1] (۲۰۱۷) در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱٦ روند کاهشی قابل‌توجهی در معیار میانگین اندازه لکه در پارک ملی گونونگ هالیوم سالاک (GHSNP) به‌عنوان یکی از مناطق حفاظت شده در اندونزی گزارش کرد. محدوده میانگین اندازه لکه در منطقه GHSNP بین ۳/۲ تا ۲۹۵/۵ هکتار متغیر بوده است. هم‌چنین، نتایج نشان‌دهنده کاهش تراکم لکه در اراضی طبیعی مورد مطالعه می‌باشد.

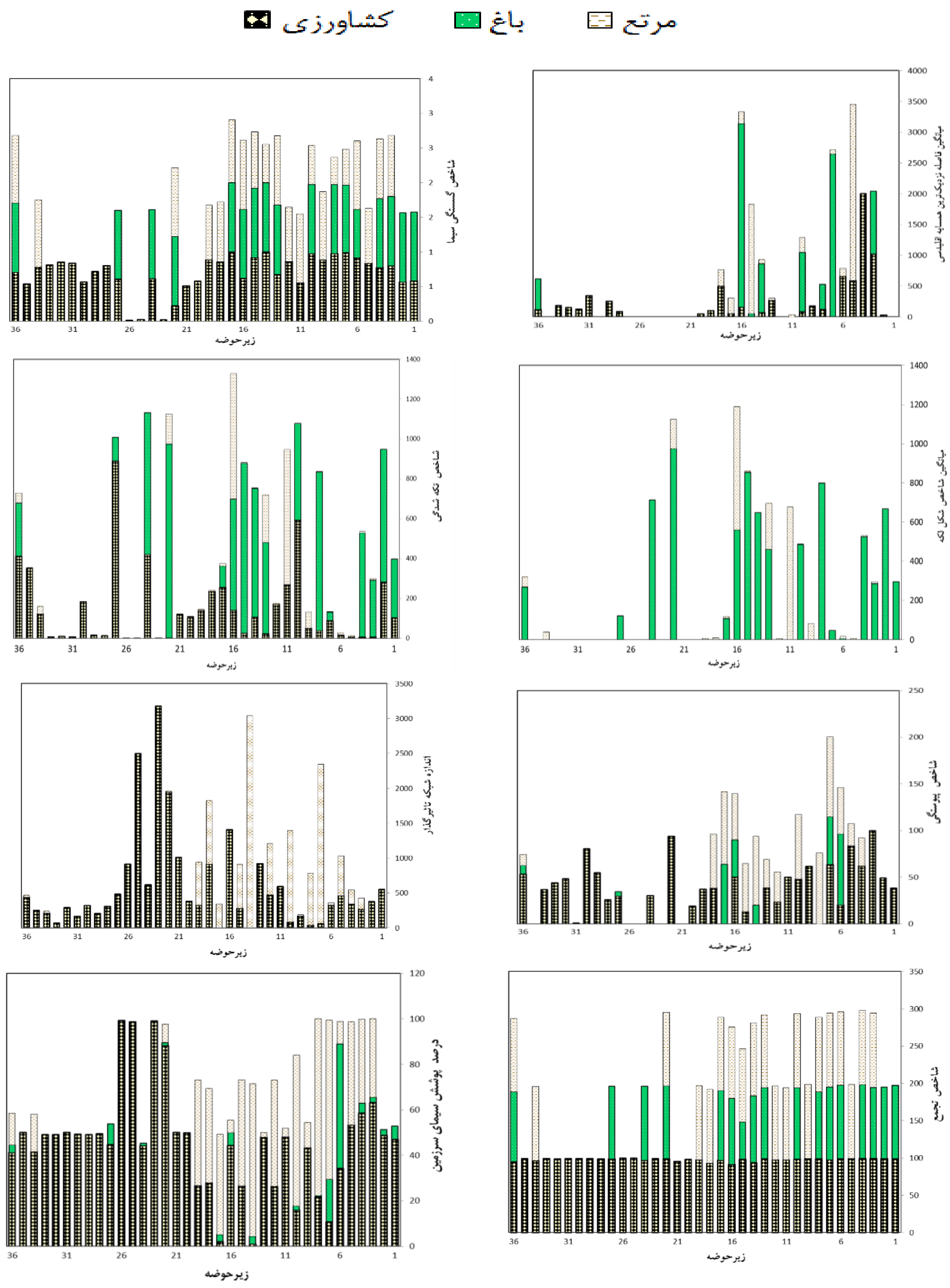
میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی به‌عنوان ساده‌ترین اندازه از چارچوب لکه به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری انزوای لکه استفاده شده است (مک‌گاریگال و انه، ۲۰۱۳). سنجه نزدیک‌ترین فاصله همسایگی اقلیدسی با استفاده از هندسه ساده اقلیدسی به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله مستقیم بین لکه مرکزی و نزدیک‌ترین همسایه آن کلاس تعریف شده است (مک‌گاریگال و انه، ۲۰۱۳). برای حوضه مورد مطالعه حداکثر سنجه فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی برای کاربری باغ و حداقل آن برای کاربری کشاورزی به‌دست آمد.

1 Rakhmawati

سنجه‌های گسستگی سیما و تکه‌شدگی اشاره به توصیف دخالت انسان‌ها و میزان انسجام (مک‌گاریگال، ۲۰۰۱). سیمای سرزمین بر اساس عملکرد توزیع اندازه‌های باقی‌مانده دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱٤). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص گسستگی سیما برای کاربری کشاورزی و کاربری باغ مشاهده شد. هم‌چنین مقدار گسستگی سیما برای حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی دارای میانگین ۰/۲۳ ± ۰/۳۹ متر و حداکثر و حداقل مقادیر ۰/۷۵ متر (زیرحوضه ۹) و ۰/۰۱ متر (زیرحوضه‌های ۲۱ و ۲٦) است. طبق نتایج مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، حداکثر مقدار این سنجه برای زیرحوزه‌های آبخیز ایریل واقع در استان اردبیل برابر با ۰/۹۲ متر گزارش شده است. هم‌چنین کیانی و فقهی (۱۳۹٤) در بررسی ساختار پوشش اراضی حوزه آبخیز سفیدرود، از گسستگی سیما استفاده کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین و کم‌ترین گسستگی به‌ترتیب در کاربری‌های کشاورزی و جنگل بوده است.



شکل ۳- تغییرات مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در کاربری‌ها و زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی



ادامه شکل ۳- تغییرات مقادیر شاخص‌های موردبررسی در کاربری‌ها و زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی

میانگین شاخص شکل لکه به‌عنوان سنجه نمایش بی‌نظمی شکل لکـه‌های سـیمای سـرزمین (اومـا[1] و همکـاران، ۲۰۱۱) دارای میانگین ۱/۵۵ برای حوضه مورد مطالعه به‌دست آمـد. مقـدار ایـن میـانگین شـاخص شـکل لکـه بـرای کاربری‌های مرتع، باغ و کشاورزی بیش‌تر از یک به‌دست آمد. میانگین شاخص شـکل لکـه در زیرحوضـه‌های مـورد مطالعه بین ۱/۳۲ (زیرحوضه ۲۵ واقع در شمال آبخیز) تا ۲/۰۷ (زیرحوضه ۲۱ واقع در شمال غربی آبخیز) متغیـر بـود. علاوه بر این، این معیار برای یک لکه مربعی شکل برابر با یک است و با افـزایش بی‌نظمـی شـکل، بزرگ‌تـر می‌شـود (کیانی و فقهی، ۱۳۹٤). نتایج اوما و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد کـه شـاخص میـانگین شـکل لکـه یکـی از مهم‌تـرین پیامدهای تأثیرات انسانی بر مناظر است.

تکه‌شدگی بر اساس توزیع لکه‌های تجمعی است و به‌عنوان شبکه مؤثر یا تعداد لکـه‌هایی بـا انـدازه ثابـت زمـانی تفسیر می‌شود (مک‌گاریگال و انه، ۲۰۱۳). برای کاربری باغ بیش‌ترین مقدار و کم‌ترین بـرای کـاربری مرتـع بـه‌دسـت آمد. هم‌چنین مقدار میانگین و انحراف معیار این سنجه برای آبخیز کوزه‌تپراقی برابر با ۱/۹۵ ± ۰/۸۱ به‌دست آمـد. ایـن معیار از ۱/۰۱ در زیرحوضه‌های ۲۱ (شمال غربی آبخیـز) و ۲٦ (واقـع در شـمال آبخیـز) تـا ۳/۳۸ در زیرحوضـه ۳۲ (قسمت مرکزی آبخیز) متغیر است.

شاخص پیوستگی لکه‌ها ارتباط فیزیکی لکه‌ها را بیان می‌کند. با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار ایـن شـاخص نیز افزایش یافت. با توجه به نتایج حداقل و حداکثر پیوستگی در کاربری باغ و کشاورزی می‌باشد.

شاخص تجمع بین صفر تا ۱۰۰ متغیر اسـت، کـه هـر چـه مقـدار عـددی ایـن شـاخص بـه ۱۰۰ نزدیـک شـود نشان‌دهنده افزایش پیوستگی می‌باشد (مک‌گاریگال و انه، ۲۰۱۳). برای کاربری کشاورزی بیش‌ترین مقـدار و کم‌تـرین برای کاربری باغ به‌دست آمد. هم‌چنین مقدار میانگین و انحراف معیار این سنجه برای آبخیز کوزه‌تپراقی برابـر بـا ۰/٤۷ ± ۹۹/۱۱ به‌دست آمد. این معیار از ۹۸/۱۸ درصد در زیرحوضه‌های ١٤ (جنوب آبخیز) و ۲٦ (واقع در شـمال آبخیـز) تا ۹۹/۷۹ درصد در زیرحوضه ۲٦ (شمال آبخیز) متغیر است.

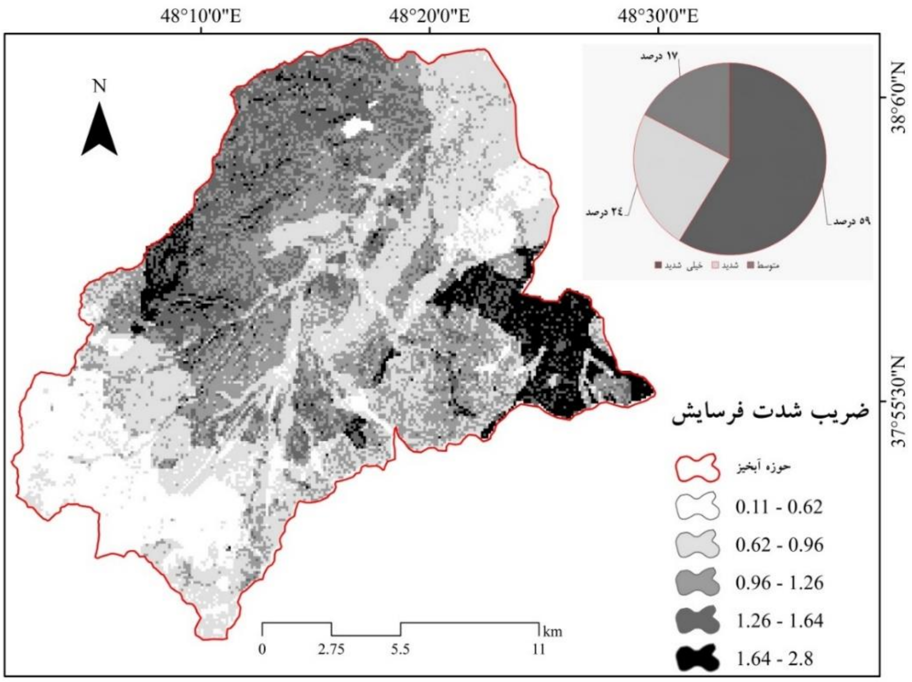
درصد پوشش سیمای سرزمین بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است، که هر چه مقدار عددی این شـاخص بـه ۱۰۰ درصد نزدیک شود نشان‌دهنده افزایش پیوسـتگی مـی‌باشـد (مک‌گاریگـال و انـه، ۲۰۱۳). بـرای کـاربری کشـاورزی بیش‌ترین مقدار و کم‌ترین مقدار آن برای کاربری باغ به‌دست آمد. این معیار از ۹٦/٦۱ درصد در زیرحوضـه ١٦ (واقـع در جنوب آبخیز) تا ۹۹/۳۸ درصد در زیرحوضه ۲٦ (شمال آبخیز) متغیر است.

۳- ۲- تغییرات مکانی شدت فرسایش خاک

شکل ٤، نقشه ضریب شدت فرسایش خاک را در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی نشان می‌دهد. میانگین و انحراف معیار ضریب شدت فرسایش در کل حوضه به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۰/۲۳ بوده است. حداکثر و حـداقل مقـدار شـدت

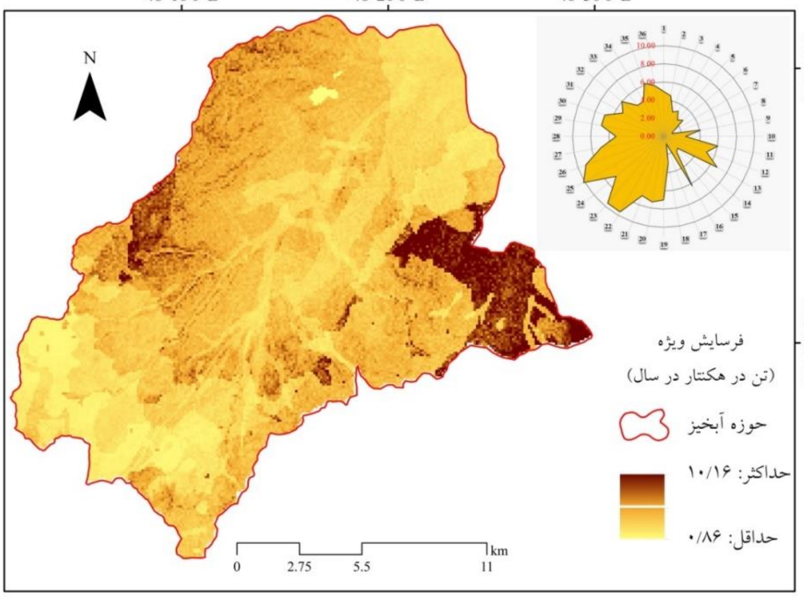
1 Uuemaa

فرسایش خاک در زیرحوضه‌های ۲۵ و ۱۷ به‌ترتیب برابر با ۱/٦۸ و ۰/۵۰ برآورد شد. قابل ذکر است که تمام مساحت زیرحوضه ۲۵ را کاربری کشاورزی و کل مساحت زیرحوضه ۱۷ را کاربری مرتع تشکیل داده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده اکثر زیرحوضه‌های مورد مطالعه تقریباً حدود ۵۹ درصد (٤۷۱/۱۱ کیلومترمربع) از کل حوضه، در طبقه فرسایش خیلی شدید (بیش از یک)، ۲٤ درصد (۱۹۱/۲۸ کیلومترمربع) در طبقه فرسایش شدید (۱-۰/۷۱) و تنها برخی از زیرحوضه‌هایی از بالادست (زیرحوضه‌های ۱٤، ۱۵ و ۱۷) که در مجموع ۱۷ درصد (۱۳۹/۰۱ کیلومترمربع) از حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهند، دارای فرسایش متوسطی (۰/۷-۰/٤۱) هستند.

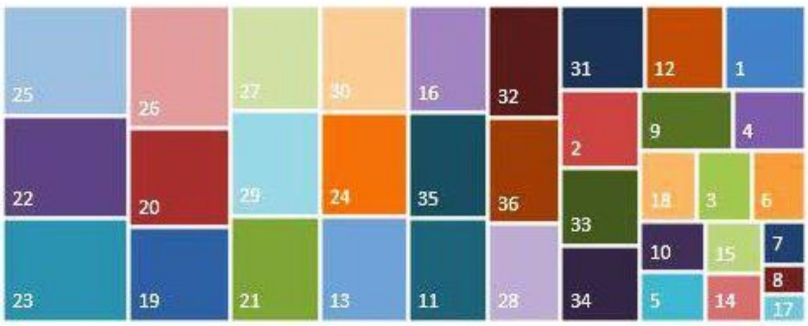


شکل ٤- نقشه ضریب شدت فرسایش حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی

در شکل‌های (۵ و ٦) توزیع مکانی فرسایش ویژه حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی ارائه شده است. با توجه به نتایج، حداکثر مقدار در شمال غربی حوزه آبخیز قرار دارد و بالادست حوزه آبخیز یعنی زیرحوضه‌های واقع در جنوب حوضه، فرسایش کم‌تری دارند. میانگین و انحراف معیار فرسایش ویژه در کل حوضه به‌ترتیب برابر با ۵/۱۷ و ۲/٤۹ بوده است. حداکثر و حداقل مقدار فرسایش ویژه در زیرحوضه‌های ۲۵ و ۱۷ به‌ترتیب برابر با ۱۰/۱٦ و ۰/۸٦ تن در هکتار در سال برآورد شد. نتایج فرسایش ویژه نیز نشان داد که در زیرحوضه‌هایی که ۱۰۰ درصد کاربری آن‌ها مرتع است، مقادیر فرسایش کم‌تر از حالتی است که تمام مساحت زیرحوضه را کاربری کشاورزی تشکیل داده باشد. مطابق شکل (۵) بیش‌ترین مقادیر فرسایش در بخش شرقی و محدوده‌هایی از غرب حوضه مورد مطالعه است.



شکل ۵- تغییرات مکانی فرسایش ویژه حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی



(اندازه مربع از بزرگ به کوچک نشان‌دهنده شدت فرسایش زیاد به کم و اعداد داخل مربع‌ها نشان‌دهنده شماره زیرحوضه‌هاست)

شکل ٦- تغییرات مقادیر فرسایش ویژه در زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی

۳-۳- تحلیل ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک

جدول (۲)، ماتریس هم‌بستگی بین شاخص‌های سیمای سرزمین را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل این ماتریس نشان می‌دهد که سنجه‌های سیمای سرزمین با یکدیگر هم‌بستگی بالایی دارند. به‌طوری‌که سنجه‌های تراکم لکه (PD) و شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین اندازه لکه (AREA-MN) بیش‌ترین هم‌بستگی را با سنجه تکه‌شدگی (SPLIT) و پیوستگی سیمای سرزمین (COHESION) دارد. سنجه‌های گسستگی سیما و تکه‌شدگی اشاره به نقش دخالت انسان‌ها و میزان انسجام سیمای سرزمین دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱٤). در جدول

(۳)، مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار سنجه‌های سیمای سرزمین در کل حوزه آبخیز کـوزه‌تپراقی ارائـه شده است.

جدول ۲- ماتریس هم‌بستگی سنجه‌های سیمای سرزمین

سنجه*	PD	LPI	TE	ED	LSI	AREA-MN	SHAPE-MN	ENN-MN	COHESION	DIVISION	MESH	SPLIT	AI	PLADJ
PD	۱													
LPI	۱/۰۰	۱												
TE	-۰/۱۹	-۰/۱۹	۱											
ED	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۴۵	۱										
LSI	۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۱۹	۰/۱۱	۱									
AREA-MN	۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۱۹	۰/۰۸	۱/۰۰	۱								
SHAPE-MN	۰/۹۶	۰/۹۷	-۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۹۷	۰/۹۷	۱							
ENN-MN	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۴۳	۱						
COHESION	-۱/۰۰	-۱/۰۰	۰/۱۸	-۰/۱۲	-۱/۰۰	-۱/۰۰	-۰/۹۷	-۰/۴۹	۱					
DIVISION	۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۱۹	۰/۱۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۴۹	-۱/۰۰	۱				
MESH	-۰/۲۴	-۰/۲۴	۰/۵۹	-۰/۲۴	-۰/۲۳	-۰/۲۱	-۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۲۴	-۰/۲۴	۱			
SPLIT	۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۱۸	۰/۱۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۵۰	-۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۲۵	۱		
AI	-۱/۰۰	-۱/۰۰	۰/۱۶	-۰/۱۲	-۱/۰۰	-۱/۰۰	-۰/۹۷	-۰/۴۹	۱/۰۰	-۱/۰۰	۰/۲۲	-۱/۰۰	۱	
PLADJ	۰/۰۰	۰/۲۷	-۰/۷۹	-۰/۴۲	-۰/۷۸	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۷۰	-۰/۳۴	-۰/۵۰	-۰/۲۳	۰/۹۸	۱

*** اسم کامل سنجه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.**

جدول ۳- مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار سنجه‌های سیمای سرزمین در کل حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی

سنجه*	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
PD	۱/۶۴	۰/۱۰	۰/۴۹	۰/۳۰
LPI	۹۹/۳۵	۳۳/۷۰	۷۰/۱۷	۲۲/۱۶
TE	۶۰۸۷۲/۳۹	۱۰۹۸/۹۲	۱۶۶۲۳/۶۰	۱۴۳۰۵/۰۱
ED	۱۳/۸۵	۰/۸۳	۷/۲۱	۳/۲۲
LSI	۳/۷۰	۱/۵۱	۲/۵۱	۰/۵۰
AREA_MN	۱۰۲۰/۶۸	۶۱/۱۳	۲۸۴/۵۳	۱۹۲/۶۶
SHAPE_MN	۲/۰۷	۱/۲۶	۱/۵۳	۰/۱۷

سنجه*	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
ENN_MN	۲۲۸۶/۴۷	۰/۰۰	۸۱۴/۹۰	۷۵۴/۰۱
COHESION	۹۹/۹۶	۹۹/۲۹	۹۹/۶۹	۰/۱۷
DIVISION	۰/۷۵	۰/۰۱	۰/۳۹	۰/۲۴
MESH	۳۵۸۱/۵۰	۱۳۹/۳۴	۱۲۷۸/۱۱	۸۷۵/۰۳
SPLIT	۴/۰۵	۱/۰۱	۱/۹۳	۰/۸۱
AI	۹۹/۷۹	۹۷/۶۴	۹۹/۱۱	۰/۴۷
PLAND	۹۹/۳۸	۹۶/۶۱	۹۸/۴۲	۰/۶۱

*** معادل فارسی سنجه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.**

در این پژوهش به‌منظور تحلیل ارتباط بین سنجه‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک از روش گام به گام استفاده شد. ١٤ سنجه شامل تراکم لکه (PD)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، حاشیه کل (TE)، تراکم حاشیه (ED)، شاخص شکل لکه (LSI)، میانگین اندازه لکه (AREA-MN)، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی (ENN-MN)، شاخص گسستگی سیما (DIVISION)، میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE-MN)، شاخص تکه‌شدگی (SPLIT)، شاخص پیوستگی لکه (COHESION)، اندازه شبکه تأثیرگذار (MESH)، شاخص تجمع (AI) و درصد پوشش سیمای سرزمین (PLAND) به‌عنوان متغیرهای مستقل و فرسایش ویژه خاک به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. روش رگرسیون گام به گام مورد استفاده در این پژوهش با در نظرگرفتن مدل خطی انجام پذیرفت، به‌نحوی‌که که بهترین مدل بین متغیر وابسته با استفاده از مقادیر ثابت و متغیرهای مستقل با آزمون‌های متوالی برازش داده می‌شود. جدول (٤) خلاصه مدل‌های برازش داده شده در روش رگرسیون گام به گام را نشان می‌دهد. با توجه به ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۹۲ و ضریب هم‌بستگی ۰/۹۴، مدل ۵ به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد. نتایج آماره F تمام مدل‌های برازش داده شده نشان داد که سطح معنی‌داری کم‌تر از ۰/۰۰۱ است که فرض وجود رابطه خطی معنی‌دار میان متغیرهای مستقل و وابسته با ضریب اطمینان ۹۹ درصد تأیید می‌شود.

جدول ٤- خلاصه مدل‌های ارائه شده به روش گام به گام

مدل	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Sig.
۱	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۱/۳۰	۰/۰۰
۲	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۸۴	۱/۰۹	۰/۰۰
۳	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۹	۰/۰۰
٤	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۰۰
۵	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۰۰

در استخراج روابط میان سنجه‌های سیمای سرزمین و مؤلفه فرسایش ویژه از نرم‌افـزار SPSS بـا قابلیت‌هـای متعدد استفاده شد. بر اساس رابطه ارائه شده برای برآورد فرسایش ویژه (رابطه ۳)، رابطه عکس میان سـنجه‌های DIVISION (شاخص گسستگی سیما) ED (تراکم حاشیه) و LPI (شاخص بزرگ‌ترین لکـه)، هم‌چنـین رابطـه مستقیم با میانگین اندازه شکل لکه (SHAPE-MN) و میـانگین انـدازه لکـه (AREA-MN) بـا فرسـایش ویـژه تشخیص داده شد. در این راستا، فینر[1] و همکاران (۲۰۱۱) بـر نقـش پیوسـتگی و گسسـتگی لکـه‌ها در اراضـی کشاورزی و لحاظ آن در ابزارهای مدل‌سازی تأکید نمودند. هم‌چنین بر اساس رابطه رگرسیونی ارائه شده رابطـه (۳)، ارتباط میان فرسایش ویژه و میانگین اندازه شکل لکه اقلیدسی در طبقه کشاورزی مسـتقیم و بیـان‌گر نقـش اراضی کشاورزی در تولید فرسایش ویژه در حوزه آبخیز مورد مطالعه بوده است. هم‌چنین بـا کـاهش شـاخص بزرگ‌ترین لکه مرتع (LPI)، مقدار فرسایش افـزایش پیـدا می‌کنـد. بـه‌عبارتی بـا افـزایش شـاخص بزرگ‌تـرین لکه‌های از نوع پوشش گیاهی خوب، سرعت پیمایش جریان کاهش پیدا کـرده و منجـر بـه کـاهش جابـه‌جـایی خاک می‌شود. این نتایج با پژوهش بیوتیستا[2] و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر وجود ارتباط بین تأثیر سنجه‌های تراکم لکه، تراکم حاشیه و شاخص بزرگ‌ترین لکه و میزان رواناب و رسوب در یک راستاست. البته با توجه به این‌کـه در حوزه آبخیز مورد مطالعه تعدادی از کاربری‌های اراضی دارای مساحت بیش‌تری بوده‌انـد، بـدیهی اسـت کـه تغییرپذیری شدت فرسایش را بیش‌تر تحت تأثیر قرار داده‌اند. هم‌چنـین طبـق نتـایج می‌تـوان اسـتنباط کـرد کـه کاربری کشاورزی و مرتع بیش‌ترین نقش را در فرسایش و تولیـد رسـوب دارد کـه بـا نتـایج خـو و همکـاران (۲۰۱۷) مبنی بر این‌که کاربری‌های زمین لخت، کشاورزی و شهری به‌عنوان منابع تولید رسوب هستند، مطابقـت دارد. طبق نتایج شاخص گسستگی سیمای کشاورزی (DIVISION)، تراکم حاشیه مرتع (ED)، میـانگین انـدازه شکل لکه کشاورزی (SHAPE-MN)، میانگین اندازه شکل لکه مرتع (AREA-MN) و شاخص بزرگ‌ترین لکه مرتع (LPI) به‌ترتیب با ضریب مشـارکت ۳۲/٦٥، ۱٥/۹۹، ۱۰/۷٦، ۲۰/۷٦ و ۱۹/۸٤ درصـد در تعیـین فرسـایش خاک حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی نقش داشته‌اند.

$$\text{فرسایش ویژه}\ (\text{تن در هکتار در سال}) = 7.27 - \left(5.70\ \text{DIVISION}_{\text{کشاورزی}}\right) - \left(0.30\ ED_{\text{مرتع}}\right) + \left(1.35\ SHAPE-MN_{\text{کشاورزی}}\right) + \left(0.002 AREA-MN_{\text{مرتع}}\right) - \left(0.04\ LPI_{\text{مرتع}}\right) \qquad (۳)$$

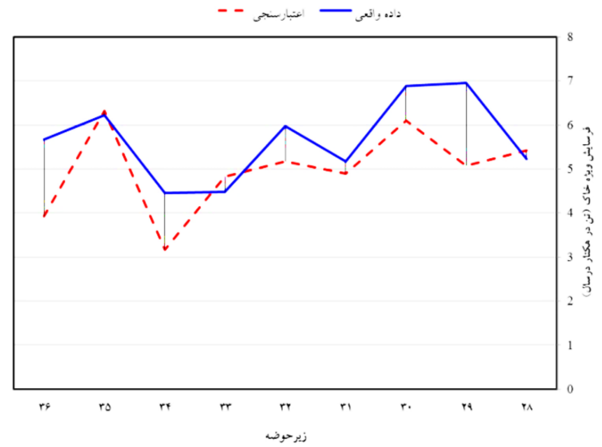
که در آن، DIVISION شاخص گسستگی سیما، ED تراکم حاشیه برحسـب متـر در ۱۰۰ هکتـار، SHAPE-MN میانگین اندازه شکل لکه، PD تراکم لکه برحسـب متـر در ۱۰۰ هکتـار، AREA-MN میـانگین انـدازه لکـه برحسـب هکتار و LPI شاخص بزرگ‌ترین لکه بر حسب درصد را نشان می‌دهد.

1 Fiener
2 Bautista

برای اعتبارسنجی، مدل به‌دست آمده برای ۲۵ درصد زیرحوضه‌های (۳٦–۲۸) باقی مانده اجرا شد. سپس شاخص خطا محاسبه شد تا دقت مدل برای منطقه مورد مطالعه برآورد شود. طبق نتایج به‌دست آمده، رابطه ارائه شده منطقی ارزیابی می‌شود.

جدول ٥- اعتبارسنجی فرسایش ویژه خاک در ۲۵ درصد زیرحوزه‌های آبخیز کوزه‌تپراقی

زیرحوضه	داده واقعی	اعتبارسنجی
۲۸	٥/۲۳	٥/٤۳
۲۹	٦/۹٥	٥/۰۸
۳۰	٦/۸۹	٦/۱۰
۳۱	٥/۱۷	٤/۸۹
۳۲	٥/۹۸	٥/۱۸
۳۳	٤/٤۸	٤/۸۲
۳٤	٤/٤٥	۳/۱۷
۳٥	٦/۲۲	٦/۳۲
۳٦	٥/٦۷	۳/۹۲



با توجه به معیارهای ارزیابی مدل رگرسیون، میزان ضریب تعیین (R^2) بین رسوب و سنجه‌های سیمای سرزمین برابر ۰/٦۲، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۰/۸۷، ME برابر ۰/٤۷ و MAE برابر ۰/۰۰٥ محاسبه شد که بیان‌گر کارایی مناسب مدل رگرسیون گام به گام با هم‌بستگی بالا و کم‌ترین میزان خطاست.

٤- نتیجه‌گیری

فرسایش خاک در اثر فعالیت‌های انسانی تشدید می‌شود و افزایش سریع جمعیت و هم‌چنین عدم توجه به بهره‌برداری صحیح از زمین، سبب شده است که دامنه‌های پرشیب و ارتفاعات بالادست نیز تحت کشت و زرع قرار گیرد که منجر به افزایش فشار بر مراتع نیز شده است. کاهش پوشش جنگلی، کاهش تولیدات زراعی، افزایش سیلاب‌ها، کاهش نیروی برقابی و کاهش کیفیت آب آشامیدنی ازجمله آثار مستقیم و غیرمستقیم فرسایش خاک هستند. برای جلوگیری از فرسایش ابتدا باید نوع فرسایش منطقه مشخص شود، سپس با استفاده از مدل‌های مناسب میزان فرسایش و رسوب را برآورد کرد. نتایج نشان داد که بین فرسایش حوزه آبخیز با الگوهای مکانی کاربری‌های مختلف ارتباط زیادی وجود دارد. از میان ١٤ سنجه موردبررسی، شاخص گسستگی سیمای کشاورزی (DIVISION)، تراکم حاشیه مرتع (ED)، میانگین اندازه شکل لکه کشاورزی (SHAPE-MN)، میانگین اندازه شکل

لکه مرتع (AREA-MN) و شـاخص بزرگ‌تـرین لکـه مرتـع (LPI) بـه‌عنوان سـنجه‌های اصـلی در محاسـبه مقـدار فرسایش برآورد شدند. از این میان دو سنجه تراکم حاشیه و شاخص بزرگ‌ترین لکه رابطـه عکـس و سـایر سـنجه‌ها رابطه مستقیم با فرسایش حوزه آبخیز داشـتند. هـم‌چنـین شـاخص گسسـتگی سـیمای کشـاورزی (DIVISION) بـا ضریب مشارکت ۳۲/٦۵ درصد و میانگین اندازه شکل لکه مرتع (AERA-MN) بـا ضـریب مشـارکت ۱۰/۷٦ درصـد به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین نقش را در تعیین فرسایش خاک حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی داشـته‌اند. یافتـه‌های حاصـل از پژوهش حاضر در درک ارتباط و نیز اثرات فعالیت‌های مـدیریتی بـر سـنجه‌های سـیمای سـرزمین و نیـز فرآینـدهای هیدرولوژیکی اصلی سامانه حوزه آبخیز و نهایتاً در برنامه‌ریزی و توسعه پایـدار آبخیزهـا کـاربرد دارنـد. در خصـوص مدل‌سازی ارتباط میان فرسایش و سنجه‌های سیمای سرزمین باید اشـاره شـود کـه تحلیل‌هـا بـر اسـاس ویژگی‌هـای سیمای سرزمین در سطح کلاس (کاربری اراضـی) بـه واقعیـت نزدیـک‌تر خواهـد بـود. بـه‌عبارتی عکس‌العمـل نـوع کاربری‌های اراضی مختلف در تولید رسوب مهم‌تر از نوع سنجه در مقیاس لکه است.

بر اساس مدل ارائه شده جهانی در خصوص برآورد فرسایش خـاک، عـواملی همچـون توپـوگرافی، فرسـایندگی باران، مدیریت کاربری اراضی، فرسایش‌پذیری خاک و نوع سازند در میـزان فرسـایش خـاک و تولیـد رسـوب مـؤثر هستند. ازآنجاکه در تحقیق حاضر، در برآورد فرسایش از مدل پتانسیل فرسایش استفاده شده است، لذا می‌تـوان گفـت که تحلیل‌های ارائه شده بر مبنای برآیند تأثیر ویژگی‌هـای مـؤثر سـنجه‌های سـیمای سـرزمین بـر میـزان فرسـایش در مقیاس زیرحوضه است که می‌تواند در مباحث مرتبط با مدیریت کاربری اراضی نقش‌آفرین باشد. قابل ذکـر اسـت کـه مدل ارائه شده و یا برآوردها بر مبنای سنجه‌های سیمای سرزمین، می‌تواند در پیش‌بینی میـزان فرسـایش خـاک در اثـر تغییر کاربری اراضی در دوره‌های آتی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نقش مؤثر انواع کاربری اراضـی در تشـدید و یا کنترل فرسایش، محاسبه میزان فرسایش ویژه در کاربری‌های مختلف اراضی می‌تواند از کاربردهای قابـل توصـیه بـر اساس نتایج تحقیق حاضر باشد. در مجموع، امکان استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین و تلفیق بـا مـدل‌های معمـول برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب از مواردی است که می‌تواند در تحقیق‌های آتی مدنظر قرار گیرد.

کتابنامه

اسمعلی، اباذر؛ عبداللهی، خدایار؛ ۱۳۹۰. آبخیزداری و حفاظت خاک. *انتشارات محقق اردبیلی*. ص ۵۷٤.

جاپلقی، محسن؛ غلامعلی‌فرد، مهدی؛ شایسته، کامران؛ ۱۳۹٦. پایش و تحلیل الگوی سیمای سـرزمین اسـتان لرسـتان و فرآیند تغییر آندر محیط GIS. محیط‌زیست طبیعی، *مجله منابع طبیعی ایران*. ۷۰(۱): ۱۵–۳۵.

حزباوی، زینب؛ پرچمی، ناهیده؛ علائی، نازیلا؛ بابایی، لیلا؛ ۱۳۹۹. ارزیابی و تحلیل وضعیت سلامت آبخیز کـوزه‌تپراقی، استان اردبیل. حفاظت منابع آب‌وخاک. ۹(۳): ۱٤۰–۱۲۱.

زارع چاهوکی، محمدعلی؛ ۱۳۸۹. روش‌های تحلیل چندمتغیره در نرم‌افزار SPSS. ص ۳٦.

صادقی، سیدحمیدرضا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ سعدالدین، امیر؛ ۱۳۹۲. پاسخ رسوب‌نمود و حلقه‌های سنجه رسوب به نوع و توزیع مکانی کاربری اراضی. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۷(۱): ۲٦-۱۵.

علائی، نازیلا. مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی‌عوری، اباذر؛ شرری، معراج؛ حزباوی، زینب؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و مقایسه میزان شاخص‌های یکپارچگی آبخیز در واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۲۵ ص.

علائی، نازیلا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی‌عوری، اباذر؛ شرری، معراج؛ حزباوی، زینب؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و مقایسه پیوستگی سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل. *بوم‌شناسی کاربردی.* ۸(٤): ۳٤-۱۹.

کرمی، آرش؛ فقهی، جهانگیر؛ ۱۳۹۰. بررسی کمی‌کردن سنجه‌های سیمای سرزمین در حفاظت از الگوی کاربری اراضی پایدار (مطالعه موردی: استان کهگیلویه و بویراحمد). *محیط‌شناسی*، ۳۷ (٦۰): ۸۸-۷۹.

کیانی، واحد؛ فقهی، جهانگیر؛ ۱۳۹٤. بررسی ساختار پوشش/کاربری حوزه آبخیز سفیدرود با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست.* ۱۷(٦): ۱٤۱-۱۳۱.

مصطفی‌زاده، رئوف؛ جعفری، انیس؛ کیوان‌بهجو، فرشاد؛ ۱۳۹۷. مقایسه ساختار اراضی مرتعی و میزان تخریب پیوستگی سیمای سرزمین در زیرحوزه‌های آبخیز ایریل، استان اردبیل. *بوم‌شناسی کاربردی.* ۷ (۱): ٤۱-۵۳.

معتمدی، راضیه؛ آذری، محمود؛ منصفی، رضا؛ ۱۳۹۸. ارتباط الگوی سیمای سرزمین و رسوب در برخی از زیرحوزه‌های آبخیز استان گلستان. *مهندسی و مدیریت آبخیز.* ۱۱(٤): ۳۷۱-۳۹۹.

میرزایی، محسن؛ ریاحی بختیاری، علیرضا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ غلامعلی‌فرد، مهدی؛ ۱۳۹۱. بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۳۸۹- ۱۳٦۳. *اکولوژی کاربردی.* ۲ (٤): ۵٤-۳۷.

نجفی‌نژاد، علی؛ پیشداد‌سلیمان‌آباد، لیلا؛ سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ ۱۳۹۲. مقایسه کارآیی دو روش سیستمی و تخصیص سرزمین چندفاکتوره در فرآیند آمایش سرزمین با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. *مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی.* ٤(۱):۱-۱۱.

Abdolalizadeh, Z., Ebrahimi, A., Mostafazadeh, R., 2019. Landscape pattern change in Marakan protected area, Iran. Regional Environmental Change, 19: 1683–1699

Ahmadi Mirghaed F, Souri B, Mohammadzadeh M, Salmanmahiny AR, Mirkarimi SH., 2018. Evaluation of the relationship between soil erosion and landscape metrics across Gorgan Watershed in northern Iran. Environ Monit Assess 190, 643. https:// doi. org/ 10. 1007/s10661-018-7040-5

Aneseyee AB, Elias E, Soromess T, Feyisa GL., 2020. Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia. Science of the Total Environment 728, 138776. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138776

Bautista S, Mayor AG, Bourakhouadar J, Bellot J., 2007. Plant spatial pattern predicts hillslope runoff and erosion in a Semiarid Mediterranean landscape. Ecosystems, 10, 987–998.

Carey RO, Migliaccio KW, Li Y, Schaffer B, Kiker GA, Brown MT., 2011. Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed. Florida. Ecological Indicators, 11(5), 1093–1104.

De Montis A, Martin B, Ortega E, Ledda A., 2017. Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. Land Use Policy 64: 83–94.

Fiener P, Auerswald K, Van Oost K., 2011. Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments-A review. Earth-Science Reviews, 106, 92–104 .

Gellis AC., 2013. Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid-tropical Puerto Rico. Catena, 104: 39–57.

Liu Z, He C, Wu J., 2016. The Relationship between Habitat Loss and Fragmentation during Urbanization: An Empirical Evaluation from 16 World Cities. *Habitat Loss and Fragmentation during Urbanization*, 28: 1-17.

Marco da Silva A, Huang CH, Francesconi W, Saintil T, Villegas J., 2015. Using landscape metrics to analyze micro-scale soil erosion processes, Ecological Indicators, 56, 184-193.

McGarigal K, Cushman SA, Neel EN., 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, 691-703.

McGarigal K, Ene E., 2013. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: http:// www. umass. edu/ landeco/research/fragstats/fragstats.html

McGarigal K. 2001. Landscape Metrics for Categorical Map Patterns, http:// www. umass. edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf

Ouyang W, Skidmore AK, Hao F, Wang T., 2010. Soil erosion dynamics response to landscape pattern, Science of The Total Environment, 408(6), 1358-1366.

Rakhmawati H., 2017. A Spatial Ecological Assessment of Fragmentation and Disturbance Effects of Infrastructure Construction and Land Conversion in Gunung Halimun Salak National Park, Indonesia. Lincoln University Digital Thesis, 1-177.

Sadoddin A, Sheikh VB, Mostafazadeh R, Halili Gh. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Golestan, Iran. International Journal of Plant Production, 4(1), 51–62.

Uuemaa E, Roosaare J, Oja T, Mander U., 2011. Analysing the spatial structure of the Estonian landscapes: which landscape metrics are the most suitable for comparing different landscapes?. Estonian Journal of Ecology 60, 70-80

Vatandaşlar C, Yavuz M, Leuchner M., 2020. Erosion Control Service of Forest Ecosystems: A Case Study from Northeastern Turkey. In: Nedkov S. et al. (eds) Smart Geography. Key Challenges in Geography (EUROGEO Book Series). Springer, Cham. pp 443-455.

Wang X, Blanchet GB, Koper N., 2014. Measuring habitat fragmentation: An evaluation of landscape pattern metrics. Methods in Ecology and Evolution, 5: 634–646.

Webb NP, Kachergis E, Miller SW, McCord SE, Bestelmeyer BT, Brown JR, Chappe A, Edwards BL, Herrick JE, Kar JW, Leys JF, Metz LJ, Smarik S, Tatarko J, Van Zee JW, Zwicke G., 2020. Indicators and benchmarks for wind erosion monitoring, assessment and management, Ecological Indicators, 110, 105881.

Wynants M, Solomon H, Ndakidemi P, Blake WH., 2018. Pinpointing areas of increased soil erosion risk following land cover change in the Lake Manyara catchment, Tanzania. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 71: 1-8.

Xu Y, Tang H, Wang B, Chen J., 2017. Effects of landscape patterns on soil erosion processes in a mountain–basin system in the North China. Nat Hazards, 87:1567–1585.
Zuur AF, Ieno EN, Meesters EHWG., 2009. A Beginner’s Guide to R. New York, Springer. 218p.